

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 44 25 033 C 2

⑤① Int. Cl.⁶:
B 21 D 22/14
B 23 K 26/00

②① Aktenzeichen: P 44 25 033.9-14
②② Anmeldetag: 15. 7. 94
④③ Offenlegungstag: 18. 1. 96
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 29. 7. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ Vertreter:
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,
Anwaltssozietät, 80538 München

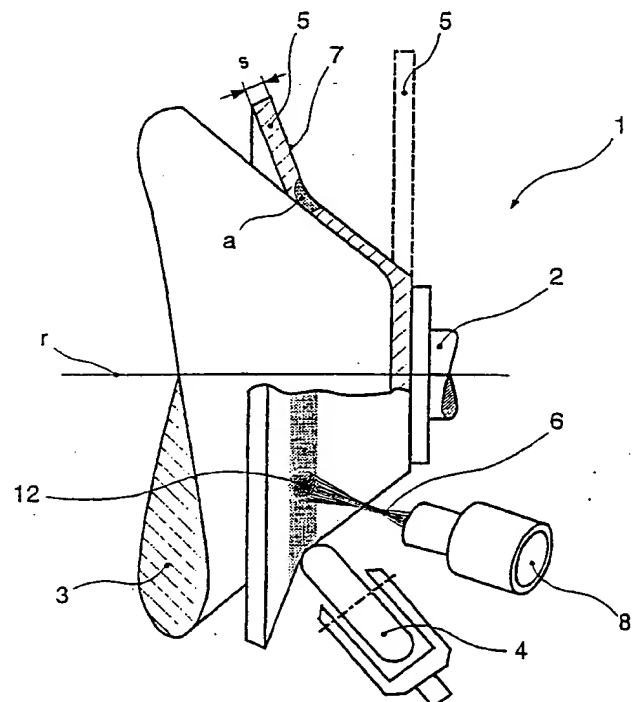
⑦② Erfinder:
Zaboklicki, Adam K., 52072 Aachen, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	42 28 528 A1
DE	28 51 620 A1
DE	28 01 475 A1
DE-OS	21 48 519
EP	05 30 383 A1
EP	04 51 268 A1

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zum Drückumformen von Werkstücken

⑤⑦ Verfahren zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Projizierdrückwalzen oder Zylinderdrückwalzen von Werkstücken mit zumindest einem Drückwerkzeug, wobei das Werkstück vor, während und/oder nach einem Umformschritt wärmebehandelt wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück (5) von einem durch eine Laserstrahleinrichtung (8) erzeugten Laserstrahl (6) benachbart zu einer durch einen Angriff des Drückwerkzeuges (4) bestimmten Umformzone und dieser vorausseilend auf einer äußeren Mantelfläche (7) erwärmt wird, eine Oberflächentemperatur (θ) des Werkstückes (5) erfaßt, mit einer Solltemperatur (θ_{soll}) verglichen und auf der Grundlage eines Soll-/Istwertvergleiches die Laserstrahleinrichtung (8) durch die Regeleinrichtung (9) angesteuert und eine Umformtemperatur des Werkstücks (5) durch die Regeleinrichtung (9) auf der Grundlage der erfaßten Oberflächentemperatur (θ) geregelt wird, wobei der Laserstrahl (6) durch eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung (10) unter Steuerung durch eine Steuerungseinheit (11) über das Werkstück (5) geführt und Position und Geometrie eines Laserbrennflecks (12) auf dem Werkstück (5) in Abhängigkeit des Soll-/Istwertvergleiches durch die Regeleinrichtung (9) bestimmt werden.



DE 44 25 033 C 2

DE 44 25 033 C 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Projizierdruckwalzen oder Zylinderdruckwalzen von Werkstücken mit zumindest einem Drückwerkzeug, wobei das Werkstück vor, während und/oder nach einem Umformschritt wärmebehandelt wird. Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Projizierdruckwalzen und Zylinderdruckwalzen von Werkstücken mit einer Spanneinrichtung und zumindest einem Drückwerkzeug.

Herkömmliche Drückumformverfahren, wie zum Beispiel Drücken, Projizierdruckwalzen oder Zylinderdruckwalzen werden vielfach über ihren normalen Anwendungsbereich, nämlich Mittel- und Großserienfertigung hinaus auch für geringe Stückzahlen und Prototypenfertigung im Maschinen- und Anlagenbau, der Kraftfahrzeugtechnik sowie der Luft- und Raumfahrttechnik eingesetzt, da die Drückwerkzeuge größtenteils nicht an die Geometrie der Werkstücke gebunden sind, woraus eine hohe Wirtschaftlichkeit und Flexibilität dieser Verfahren resultiert.

Die erreichbaren Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten bei den Drückumformverfahren sind jedoch durch die Werkstoffeigenschaften, Formänderungsvermögen und Neigung zur Kaltverfestigung begrenzt. Da mit zunehmendem Umformgrad im allgemeinen die Kaltverfestigung zunimmt, ist die obere Grenze des Gesamtdeformationsgrades auch bei einer Aufteilung der Umformaufgabe in Einzelschritte hauptsächlich vom Formänderungsvermögen des Werkstoffes abhängig.

Zur notwendigen Wändickenreduktion bei schwer umformbaren Werkstoffen sind herkömmlich teure Drückvorrichtungen mit hohen Vorschubkräften und hohen Spindel-drehmomenten erforderlich.

Um auch bei Werkstoffen mit niedrigem Formänderungsvermögen, wie zum Beispiel Aluminium-Magnesium-Legierungen, Titan-Legierungen oder Edelstahlblechen, hinreichende Umformgrade realisieren zu können, werden diese im allgemeinen warm umgeformt und in einigen Fällen stufenweise mit Zwischenglühen (Rekristallisationsglühen) umgeformt, um die entstandene Kaltverfestigung abzubauen.

Hierfür ist es bereits bekannt, das Werkstück vor, während oder nach einem Drückumformen zu erwärmen (EP 0 451 268 A1, DE 28 51 620 A1, EP 0 530 383 A1, DE-OS 21 48 519). Das Werkstück wird dabei entweder durch Induktoren (DE 28 51 620 A1, EP 0 530 383 A1, DE-OS 21 48 519) oder durch offene Flamme mit einem Gasbrenner (EP 0 451 268 A1) erwärmt. Hierdurch kann allerdings die Wärmebehandlung nur langsam und nur relativ unpräzise sowie unflexibel erfolgen. Überdies sind weitere negative Effekte, wie Verzundern der Werkstückoberfläche zu beobachten. Es ist daher in nicht ausreichendem Maße möglich, das Drückumformen des Werkstücks durch eine gezielte zeitliche und örtliche Beeinflussung der Materialeigenschaften zu unterstützen.

Weiterhin ist aus der Druckschrift DE 28 01 475 A1 ein Verfahren zur Herstellung einer Metalldose oder eines napf- oder dosenförmigen Gegenstandes durch Ziehen und Drücken bekannt. Gemäß diesem Verfahren wird ein Dosenrand nach dem Ziehen und Drücken durch einen Laserstrahl abgeschnitten. Durch das Abschneiden des Dosenrandes mit einem Laser werden die metallurgischen Eigenschaften der Dosen im Randbereich derart verändert, daß die nachfolgende Ausbildung eines Flansches oder dergleichen an dem Dosenrand vereinfacht durchgeführt werden kann.

Aus der Druckschrift DE 42 28 528 A1 ist ein Verfahren

und eine Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung und insbesondere zum Biegen eines Metallblechstücks bekannt. Gemäß diesem Verfahren wird zunächst eine Biegekante durch einen Laserstrahl erwärmt, der mit hoher Geschwindigkeit entlang der Biegekante bewegt wird. Dabei wird die Temperatur des Metallblechstücks im Bereich der Biegekante erfaßt, wobei die Steuerung des Laserstrahls nach Maßgabe der erfaßten Temperatur erfolgt, bis eine vorgegebene Temperatur erreicht ist, und das Metallblechstück durch eine Biegevorrichtung entlang der Biegekante in gewünschter Weise gebogen werden kann.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Drückumformen von Werkstücken anzugeben, das bzw. die bei hoher Flexibilität durch eine gezielte und präzise zeitliche und lokale Beeinflussung des Materials hohe Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten gestattet.

Diese Aufgabe wird hinsichtlich des eingangs genannten Verfahrens erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Auf diese Weise ist es auch bei komplizierten Werkstückgeometrien möglich, durch eine örtlich eng begrenzte Erwärmung die Fließspannung des Werkstücks gezielt zu senken und auch bei zunehmendem Umformgrad den Anstieg der Fließspannung niedrig zu halten. Insbesondere von Vorteil ist dabei die extrem schnelle Aufheizung des Werkstücks aufgrund der hohen und präzise definierten Energiedichte des Laserstrahls in einem präzise definierten Bereich, infolgedessen die Wärmebelastung des gesamten Werkstücks gering bleibt. Dies gestattet eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit bei sehr guter Bearbeitungsqualität mit nur geringem Verzug trotz hoher Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten.

Weiterhin wird das Werkstück von einem durch die Laserstrahleinrichtung erzeugten Laserstrahl auf einer äußeren Mantelfläche beaufschlagt, die einem Drückfüßler, auf das das Werkstück gedrückt wird, abgewandt ist. Dadurch kann eine präzise lokale Erwärmung des Werkstücks von seiner Rückseite her in den Bereichen hohen Umformgrades erfolgen, so daß der Uniformwiderstand verringert und höhere Umformgrade erzielt werden können.

Erfindungsgemäß wird eine Oberflächentemperatur des Werkstücks erfaßt, auf der Grundlage derer eine Uniformtemperatur des Werkstücks geregelt werden kann. Eine derartige Regelung der Uniformtemperatur erlaubt verschiedene Formen der Wärmebehandlung, während oder nach dem Umformen des Werkstücks, wie zum Beispiel ein Spannungsfreiglühen, Weichglühen oder Rekristallisationsglühen exakt in dem jeweils dazu notwendigen Temperaturbereich durchzuführen, und das Maß der Verminderung der Uniformfestigkeit gezielt zu steuern.

Gemäß der Erfindung wird dabei zur Regelung der Uniformtemperatur die erfaßte Oberflächentemperatur mit einer Soll-Temperatur, die auf Werkstoff und Umformprozeß abgestimmt wird, verglichen und die Laserstrahleinrichtung auf der Grundlage dieses Soll-/Ist-Wertvergleichs durch eine Regeleinrichtung angesteuert. Dadurch ist die Umformtemperatur flexibel auf unterschiedliche Materialien wie Qualitätsstahl, Titan-, Aluminium- oder Nickellegierungen, oder auch Chrom-Nickel-Stähle anzupassen und präzise zu regeln.

Weiterhin ist der Laserstrahl durch eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung unter der Steuerung einer Steuerungseinheit über das Werkstück führbar, wobei die Position und die Geometrie eines Laserbrennflecks auf dem Werkstück in Abhängigkeit des Soll-/Istwertvergleichs durch die Regeleinrichtung geregelt und eingestellt wird. Die Energiebeaufschlagung durch den Laserstrahl wird dabei nicht nur

durch ein Verändern der Laserleistung, sondern auch durch ein Verändern der Position und der Geometrie des Laserbrennflecks gesteuert, wobei die Laserleistung und die Position und Geometrie des Laserstrahls gegenseitig aufeinander abgestimmt werden. Dadurch ist eine hohe Flexibilität bei der Regelung der Energiebeaufschlagung gegeben.

In vorteilhafter Weise erfolgt die Regelung der Umformtemperatur durch Einstellung von Betriebsparametern der Laserstrahleinrichtung, insbesondere der Laserintensität und der Laserleistung, da diese einfach durch die an die Laserstrahleinrichtung angelegte Spannung geregelt werden kann.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht auch darin, daß der Laserstrahl oszillierend mit variabler Amplitude und Frequenz über das Werkstück geführt wird. Dadurch kann die Energiebeaufschlagung des zu erwärmenden Bereiches durch den Laserstrahl sehr differenziert erfolgen und die Temperaturverteilung und die Größe des durch den Laserstrahl beaufschlagten Bereiches des Werkstücks individuell angepaßt und geregelt werden. Der zu erwärmende Bereich ist deshalb über die Geometrie des Laserbrennflecks hinaus genau einstellbar.

Nach einer anderen bevorzugten Ausgestaltung wird der Laserstrahl kontinuierlich über das Werkstück geführt, wodurch die Strahlführungs- und -formungseinrichtung und die zugehörige Steuerungseinheit sehr einfach und demzufolge auch billig sein kann.

In vorteilhafter Weise wird dabei der Laserstrahl der Bewegung des Drückwerkzeugs folgend über das Werkstück geführt. Ein Laserbearbeitungskopf der Laserstrahleinrichtung ist dabei an die Bewegungsachsen des Drückwerkzeugs angekoppelt, wodurch der Laserstrahl stets den umzuformenden Bereich beaufschlagt und erwärmt. Ebenso ist es dadurch aufgrund der kontinuierlichen Bewegung des Drückwerkzeugs möglich, den Bereich des Werkstücks, der vor bzw. hinter der Umformbearbeitungszone liegt, durch den Laserstrahl zu beaufschlagen, um eine Wärmebehandlung des Werkstücks nicht nur während sondern auch vor bzw. nach der Umformbearbeitung durchzuführen.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform ist dadurch gegeben, daß der Laserstrahl frei beweglich über das Werkstück geführt wird. Der Laserstrahl ist dabei durch die Strahlführungs- und -formungseinrichtung relativ gegenüber dem Drückwerkzeug und dem Werkstück um mindestens vier Achsen beweglich. Diese Ausführungsform zeichnet sich durch einen hohen Freiheitsgrad in der Wärmebeaufschlagung des Werkstücks aus, wodurch eine Festigkeitsreduzierung bzw. ein Spannungsfreiglühen oder Rekristallisationsglühen unabhängig von der Bewegung des Drückwerkzeugs an jeder beliebigen Stelle des Werkstücks ausführbar ist.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird der Laserstrahl durch das Drückwerkzeug auf das Werkstück geführt. Dies gestattet es in sehr einfacher Weise, die Umformzone des Werkstücks durch den Laserstrahl zu erwärmen.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht auch darin, daß das Werkstück durch einen ersten und einen zweiten Laserstrahl beaufschlagt wird. Durch die Verwendung von zwei Laserstrahlen kann das Werkstück an zwei Stellen gleichzeitig erwärmt werden, so daß zwei Wärmebehandlungsschritte parallel durchgeführt werden können. Die Parallelschaltung der Bearbeitungsschritte reduziert die insgesamt Fertigungszeit und senkt demzufolge die Herstellungskosten.

In vorteilhafter Weise erwärmt dabei der erste Laserstrahl die Umformzone, vorzugsweise geführt durch das Drückwerkzeug, während der zweite Laserstrahl den umgeform-

ten Bereich des Werkstücks erwärmt. Neben der Reduzierung der Umformfestigkeit in der Umformzone wird das Werkstück im umgeformten Bereich gleichzeitig einem Spannungsfreiglühen oder Rekristallisationsglühen unterzogen. Die Umformung des Werkstücks ist dadurch besonders wirtschaftlich.

Hinsichtlich der vorgenannten Vorrichtung zum Drückumformen wird die Aufgabe erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 10 gelöst.

Durch diese erfindungsgemäße Vorrichtung lassen sich lokal und zeitlich sehr genau steuerbar die Eigenschaften des Materials des umzuformenden Werkstücks gezielt ändern, wodurch das Werkstück mit hohen Umformgraden und mit hoher Geschwindigkeit umzuformen ist. Die Verwendung einer Laserstrahleinrichtung ist besonders vorteilhaft, da dies zu einem kleinen Bauvolumen der Umformvorrichtung beiträgt. Zum einen ist die Drückvorrichtung aufgrund der geringeren Umformkräfte infolge der Laserstrahlerwärmung klein und leicht und zum anderen ist der Platzbedarf für den Laserstrahl sehr gering.

Erfindungsgemäß ist eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung zur Führung des Laserstrahls und Formung eines Laserbrennflecks auf der Oberfläche des Werkstücks vorgesehen. Das Werkstück kann deshalb an beliebigen, jeweils erforderlichen Stellen wärmebeaufschlagt werden, wodurch die Änderung der Materialeigenschaften an die Fertigungsaufgabe anpaßbar ist. Darüber hinaus kann der Laserbrennfleck auf der Oberfläche des Werkstücks variabel zu einem Kreis, einer Ellipse oder auch einem Rechteck geformt werden, so daß die Energiedichte und die Aufheizrate bei der Einbringung der Energie auf die Werkstückoberfläche gezielt zu steuern sind.

Zur höheren Automatisierbarkeit, besseren Regel- und Steuerbarkeit und einer guten steuerungstechnischen Verbindung der Laserstrahleinrichtung mit der Umformvorrichtung ist eine Steuerungseinheit zur Steuerung der Strahlführungs- und -formungseinrichtung vorgesehen.

Darüber hinaus ist eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung der Oberflächentemperatur des Werkstücks vorgesehen. Damit läßt sich erkennen und abschätzen, ob eine Bearbeitungstemperatur des Werkstücks in einem erwünschten Bereich für die jeweilige Wärmebehandlung wie Lösungs- bzw. Spannungsfreiglühen und Rekristallisationsglühen liegt.

Weiterhin ist eine Regeleinrichtung zur Regelung der Bearbeitungstemperatur des Werkstücks vorgesehen, wobei die Regeleinrichtung zumindest eine Speichereinheit zur Speicherung von Werkstoffdaten und Prozessparametern, insbesondere einer Soll-Temperatur für das Werkstück aufweist und mit der Erfassungseinrichtung zum Vergleichen der erfaßten Oberflächentemperatur und der Soll-Temperatur verbunden ist. Dadurch ist die Umformvorrichtung in hohem Grade automatisiert an die Bearbeitungsaufgabe, insbesondere das Werkstückmaterial anpaßbar. Die Regeleinrichtung regelt die Bearbeitungstemperatur des Werkstücks auf der Grundlage des Soll-/Ist-Wertvergleichs exakt in einem gewünschten Temperaturintervall.

Nach einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist die Regeleinrichtung mit der Laserstrahleinrichtung und der Steuerungseinheit zur Einstellung von Betriebsparametern, insbesondere der Laserleistung und der Strahlgeometrie verbunden. Eine Regelung der Laserleistung läßt sich sehr einfach durch ein Verändern der an die Laserstrahleinrichtung angelegten Spannung regeln, wobei die Regelung der Laserleistung die Energiebeaufschlagung der Werkstückoberfläche und dadurch den Grad der Werkstückrerwärmung effizient beeinflußt. Die Einstellung der Strahlgeometrie, insbesondere der Geometrie des Laser-

brennflecks auf der Werkstückoberfläche läßt darüber hinaus eine weitere Differenzierung der Wärmebeaufschlagung zu.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Laserstrahl-einrichtung starr mit dem Drückwerkzeug verbunden und gekoppelt an die Bewegungsachsen des Drückwerkzeugs bewegbar. Dies gewährleistet es, ohne komplizierte steuerungstechnische Einrichtungen den Laserstrahl in der jeweiligen Umformbearbeitungszone oder auch in einem Bereich, der vor oder hinter der Umformbearbeitungszone liegt, die durch die jeweilige Position des Drückwerkzeugs gegeben sind, über das Werkzeug zu führen. Die Vorrichtung ist dadurch einfach, robust und insbesondere kostengünstig.

Eine günstige Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist auch dadurch gegeben, daß die Laserstrahl-einrichtung oder zumindest ein durch die Laserstrahleinrichtung erzeugter Laserstrahl durch die Strahlführungs- und -formungseinrichtung frei bewegbar, insbesondere mit variabler Amplitude und Frequenz oszillierend bewegbar ist. Die Wärmebeaufschlagung des Werkstücks kann dadurch unabhängig und während der Bearbeitung variabel an beliebigen, jeweils notwendigen Positionen des Werkstücks erfolgen. Darüber hinaus läßt sich in dem zu erwärmenden Bereich des Werkstücks eine individuelle Temperaturverteilung unabhängig von der Geometrie des Laserbrennflecks erzielen.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist auch dadurch gegeben, daß eine erste und eine zweite Laserstrahleinrichtung zur Beaufschlagung des Werkstücks mit einem ersten und einem zweiten Laserstrahl vorgesehen sind. Dadurch kann das Werkstück an verschiedenen Stellen gleichzeitig wärmebehandelt werden. Mehrere Wärmebehandlungsschritte sind zeitgleich durchführbar, wodurch die Umformung des Werkstücks kostengünstig und wirtschaftlich ist.

In vorteilhafter Weise ist die erste und/oder zweite Laserstrahleinrichtung starr mit dem Drückwerkzeug verbunden und mit diesem bewegbar. Dadurch ist insbesondere die Umformzone des Werkstücks durch den ersten Laserstrahl zur Reduzierung der Umformfestigkeit in einfacher Weise erwärmbar.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist auch dadurch gegeben, daß die zweite und/oder die erste Laserstrahleinrichtung oder zumindest der durch die zweite und/oder erste Laserstrahleinrichtung erzeugte zweite und/oder erste Laserstrahl frei bewegbar ist. Das Werkstück kann dadurch an beliebigen, jeweils notwendigen Positionen unabhängig und während der Bearbeitung variabel erwärmt werden.

Die Erfindung wird nachstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele und zugehöriger Zeichnungen näher erläutert. In diesen zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung für das laserunterstützte Projizierdrückwalzen in einer Seitenansicht nach einem ersten Ausführungsbeispiel;

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Vorrichtung nach dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 in einer Frontansicht;

Fig. 3 eine schematische Darstellung der Vorrichtung nach dem Ausführungsbeispiel der vorhergehenden Figuren in einem Halbschnitt während des Umformvorganges;

Fig. 4 eine schematische Darstellung der Vorrichtung gemäß dem Ausführungsbeispiel der vorhergehenden Figuren in einem Halbschnitt vor dem Umformvorgang;

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung für das laserunterstützte Projizierdrückwalzen nach einem zweiten Ausführungsbeispiel mit zwei Laserstrahleinrichtungen in einem Halbschnitt;

Fig. 6 eine schematische Darstellung der Vorrichtung ge-

maß dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 bis 4 in einem Halbschnitt während einer Wärmebehandlung nach einem erfolgten Umformvorgang, wobei eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung in verschiedenen Positionen gezeigt ist;

Fig. 7 eine schematische Darstellung der Steuerung und Regelung der Vorrichtung nach dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 bis 4;

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Zylinderdrückwalzen nach dem Gleichlaufverfahren gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel;

Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung für das Zylinderdrückwalzen nach dem Gegenlaufverfahren nach einem weiteren Ausführungsbeispiel;

Fig. 10 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Drücken nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, wobei das Werkstück und ein Drückwerkzeug in verschiedenen Umformschritten dargestellt sind;

Fig. 11 ein Diagramm des funktionalen Zusammenhangs zwischen Umformgrad und Fließspannung in Abhängigkeit der Temperatur für den Werkstoff X 5 CrNi 18 9.

Fig. 1 und 2 zeigen das Umformen eines Werkstücks 5, nämlich einer Blechrolle durch eine Vorrichtung für das laserunterstützte Projizierdrückwalzen.

Durch das Projizierdrückwalzen wird ein rotationssymmetrischer Hohlkörper mit kegelförmiger, konkaver oder konvexer Form oder einer Kombination aus diesen Geometrien hergestellt. Bei der Umformung wird die Wandstärke s des Werkstücks 5 so reduziert, daß jedes Volumenelement des Werkstücks 5 parallel zu einer Rotationsachse r verschoben wird. Das Werkstück 5 kann dabei aus nahezu allen bildsamen Werkstoffen sein, wie zum Beispiel unlegierte und niedrig legierte Kohlenstoffstähle, rost- und säurebeständige Stähle, Leichtmetalle, insbesondere Aluminium oder Aluminiumlegierungen mit Mangan, Magnesium, Silizium oder Titan, Titanlegierungen sowie NE-Schwermetalle oder Edelmetalle.

Das Werkstück 5 ist in einer Spanneinrichtung, die aus einem kegelförmigen Drückfutter 3 sowie einem Gegenhalter 2 besteht, eingespannt, wobei Drückfutter und Gegenhalter zusammen mit dem Werkstück 5 um die Rotationsachse r während des Projizierdrückwalzprozesses gedreht werden.

Einer Mantelfläche des Drückfutters 3 gegenüberliegend angeordnet ist ein Drückwerkzeug 4, das eine Drückrolle aufweist, welche parallel in einem entsprechenden Abstand zur Kontur des Drückfutters 3 verfahrbar ist.

Das Drückwerkzeug 4 ist ebenfalls zumindest entlang einer dazu senkrechten Achse verfahrbar, um unterschiedliche Wandstärken des Werkstücks 5 zu erzeugen oder um an unterschiedliche Drückfutter angepaßt werden zu können.

Um das Werkstück 5 während des Drückumformens partiell erwärmen zu können, ist eine Laserstrahleinrichtung 8 vorgesehen, die mit einem Laserstrahl 6 eine äußere Mantelfläche 7 des Werkstücks 5 beaufschlagt. Dadurch kommt es in einer vom Laserstrahl beaufschlagten Zone a , wie am besten in Fig. 2 und Fig. 3 zu sehen ist, zu einer lokal begrenzten Erwärmung und damit zu einer Senkung der Fließspannung des Werkstücks 5 und auch zu einer Verbesserung des Formänderungsvermögens des Werkstücks 5. Wie in Fig. 11 gezeigt, führt bei einem Werkstück aus dem Werkstoff X 5 CrNi 18 9 eine Erwärmung von Raumtemperatur auf 700° in etwa zu einer Halbierung der Fließspannung.

Der Laserstrahl 6 wird dabei derart geführt, daß ein Laserbrennfleck 12 auf der Oberfläche 7 des Werkstücks 5 der jeweiligen Bearbeitungszone durch das Drückwerkzeug 4 vorausgeht, d. h., daß jeweils der Bereich des Werkstücks 5, der durch Rotation um die Rotationsachse r zur Umformung mit dem Drückwerkzeug 4 in Berührung kommt, erwärmt

wird.

Wie später beschrieben werden wird, ist jedoch auch eine andere Führung des Laserstrahls 6 zur Beaufschlagung des Werkstücks 5 möglich.

Wie insbesondere aus Fig. 6 und 7 ersichtlich ist, ist zur Laserstrahlerwärmung des Werkstücks 5 und Führung des Laserstrahls 6 eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 vorgesehen, die entkoppelt von dem Drückwerkzeug 4 angebracht ist und den Laserstrahl um mindestens vier Achsen schwenk- und verschiebbar führt. Dadurch kann unabhängig von der Position des Drückwerkzeuges 4 jeder beliebige, notwendige Bereich des Werkstücks 5 wärmebeaufschlagt werden, wodurch nicht nur parallel zum Drückumformvorgang die Umformfestigkeit des Werkstücks 5 reduziert werden kann, sondern auch im Anschluß an den Umformungsvorgang ein Spannungsfreiglühen oder Rekristallisationsglühen erfolgen kann.

Abweichend davon ist es jedoch ebenfalls möglich, die Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 gekoppelt an das Drückwerkzeug 4 zu befestigen, so daß die Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 und der Laserstrahl 6 stationär und kontinuierlich entsprechend der Bewegung des Drückwerkzeuges 4 über das Werkstück 5 geführt wird. Dies macht die Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 und die zugehörige Steuerung sehr einfach und kostengünstig.

Die Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 lenkt den Laserstrahl 6 nicht nur in eine gewünschte Richtung ab, sondern formt auch die Geometrie des Laserbrennflecks 12 auf der Oberfläche 7 des Werkstücks 5. Der Laserbrennfleck 12 wird, angepaßt an die Bearbeitungsaufgabe, vorzugsweise in Form eines Kreises, einer Ellipse oder eines Rechtecks ausgebildet.

In Fig. 5 ist eine Ausführungsform gezeigt, bei der nicht nur eine, sondern zwei Laserstrahleinrichtungen vorgesehen sind. Neben einer ersten Strahlführungs- und formungseinrichtung 10, die den Laserstrahl 6 über das Werkstück 5 führt, um den Umformbereich a des Werkstücks 5 zu erwärmen, beaufschlagt die zweite Laserstrahleinrichtung mit einem Laserstrahl 6', der durch eine zweite Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10' gesteuert wird, einen zweiten Bereich b des Werkstücks 5, der durch das Drückwerkzeug 4 bereits umgeformt wurde. Parallel zur Festigkeitsreduzierung des Werkstücks 5 in der Umformzone a wird das Werkstück 5 in dem zweiten Bereich b wärmebehandelt, insbesondere spannungsfrei gegläht oder einem Rekristallisationsglühen unterzogen. Diese Parallelschaltung der Bearbeitungsvorgänge sorgt für eine wirtschaftliche Fertigung mit kurzen Maschinenzeiten und dementsprechend niedrigen Kosten.

Im folgenden soll mit Bezug auf Fig. 7 die Steuerung der Drückvorrichtung in Verbindung mit der Laserstrahleinrichtung beschrieben werden.

Zur Erfassung einer Oberflächentemperatur ϑ ist eine Erfassungseinrichtung 13 vorgesehen; die einen Temperatursensor 14 sowie eine damit verbundene Signalverarbeitungseinheit 15 umfaßt. Auf der Grundlage der Oberflächentemperatur ϑ regelt eine Regeleinrichtung 9 die Bearbeitungstemperatur des Werkstücks 5, insbesondere die Oberflächentemperatur. Dazu weist die Regeleinrichtung 9 eine Speichereinheit auf, in der für unterschiedliche Bearbeitungsaufgaben und unterschiedliche Werkstoffe eine Soll-Temperatur ϑ_{Soll} abgespeichert ist, die in der Regeleinrichtung 9 mit der erfaßten Oberflächentemperatur ϑ verglichen wird. Die Regeleinrichtung 9 ist mit der Laserstrahleinrichtung 8 verbunden, um in Abhängigkeit des Ergebnisses des Soll-/Ist-Wertvergleichs zwischen der Oberflächentemperatur ϑ und der Soll-Temperatur ϑ_{Soll} , insbesondere die Laserleistung der Laserstrahleinrichtung 8 zu regeln. Dabei wird

in einfacher Weise die an die Laserstrahleinrichtung 8 angelegte Spannung U entsprechend verändert. Dadurch wird sowohl die Energiedichte, mit der das Werkstück 5 beaufschlagt wird, die bis zu 10^8 Watt/cm² beträgt, als auch die Aufheizrate, die bis zu maximal 10^5 K/s beträgt, geregelt, so daß die Bearbeitungstemperatur des Werkstücks im erwärmten Bereich sehr exakt innerhalb des für die jeweilige Wärmebehandlung wie Festigkeitsreduzierung oder Spannungsarmglühen, notwendigen Temperaturintervalls gehalten wird. Dabei ermöglichen es im Speziellen die hohe Energiedichte und hohe Aufheizrate bei der Laserstrahlbeaufschlagung das Werkstück sehr lokal und zeitlich begrenzt aufzuheizen, so daß es zu einer nur geringen Wärmebelastung des gesamten Bauteils kommt, wodurch nur ein geringer Verzug bei der Bearbeitung auftritt.

Darüber hinaus ist die Regeleinrichtung 9 mit einer CNC-Steuereinrichtung (Steuerungseinheit) 11 operativ verbunden, die neben der Position und dem Vorschub des Drückwerkzeuges 4 und der Drehgeschwindigkeit des Drückfutters 3 mit der daran befestigten Blechrunde (Werkstück) 5 die Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 steuert, die den Laserstrahl 6 entweder kontinuierlich, stationär oder frei beweglich, insbesondere oszillierend mit variabler Amplitude und Frequenz über das Werkstück 5 führt.

Die operative Verbindung zwischen der Regeleinrichtung 9 und der CNC-Steuereinrichtung 11 gestattet es dabei, die Leistung der Laserstrahleinrichtung 8 und die von der CNC-Steuereinrichtung 11 gesteuerten Positions-, Vorschubs- und Bewegungsgrößen des Drückwerkzeuges 4 mit der zugehörigen Werkstückspanneinrichtung (Gegenhalter, Drückfutter) 2, 3 und der Strahlführungs- und -formungseinrichtung 10 aufeinander abgestimmt zu steuern, um eine für die Bearbeitungsaufgabe optimale Wärmebeaufschlagung des Werkstücks 5 zu erzielen.

Die Erfindung wurde vorstehend anhand eines Ausführungsbeispiels für Projizierdrückwalzen beschrieben. Das laserunterstützte Drückumformen ermöglicht jedoch auch bei einem Drücken oder einem Zylinderdrückwalzen durch eine gezielte, lokal und zeitlich eng begrenzte Eigenschaftsänderung des Materials höhere Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten.

Fig. 8 und Fig. 9 zeigen jeweils eine Vorrichtung zum Zylinderdrückwalzen eines Werkstücks 5, das auf ein zylindrisches Drückfutter 3 aufgespannt ist. Das Werkstück 5, das in seiner Ausgangsform eine innenzyklindrische Büchse oder ein Napf ist, wird ebenfalls unter einer Rotationsbewegung durch ein Drückwerkzeug 4 umgeformt, wobei das Werkstück 5 entweder durch einen Gegenhalter 2 eingespannt und durch das sich vom Gegenhalter 2 wegbewegende Drückwerkzeug 4 (Gleichlaufverfahren, Fig. 8) oder an einen von dem Drückfutter 3 radial vorspringenden Anschlag gedrückt und durch das sich auf den Anschlag 16 zubewegende Drückwerkzeug 4 umgeformt wird (Gegenlaufverfahren, Fig. 9).

Wie in den Fig. 8 und 9 dargestellt, erfolgt eine Wärmebeaufschlagung des Werkstücks 5 in zu dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel analoger Weise. Der Laserstrahl 6 wird dabei derart geführt, daß ein Laserbrennfleck 12 auf der Werkstückoberfläche im Bereich der Umformzone a liegt und diese erwärmt.

Fig. 10 zeigt eine Vorrichtung zum Drücken eines Werkstücks 5, das in seiner Ausgangsform als Blechrunde zwischen einem Drückfutter 3 und einem Gegenhalter 2 eingespannt ist. Das Werkstück 5 wird durch ein Drückwerkzeug 4 meist stufenweise bis zur Erreichung der Endform und im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Drückumformverfahren ohne Querschnittsänderung umgeformt. Die Umformung erfolgt lediglich örtlich im Sinne einer Richtungsän-

derung, wobei die Blechdicke nicht verändert wird.

Eine Wärmebeaufschlagung durch eine Laserstrahleinrichtung erfolgt ebenfalls in zu dem Ausführungsbeispiel für das Projizierdruckwalzen analoger Weise. Ein Laserbrennfleck 12 auf der Werkstückoberfläche liegt insbesondere im Bereich der Umformzone a, die erwärmt wird.

Durch die Kombination einer Druckvorrichtung gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 für das Projizierdruckwalzen oder gemäß Fig. 8 oder 9 für das Zylinderdruckwalzen oder gemäß Fig. 10 für das Drücken mit einer lokal eng begrenzten Erwärmung des Werkstücks an der Rückseite durch einen Laserstrahl werden die durch das Drückumformen erreichbaren Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten für eine Vielzahl von Umformwerkstoffen wesentlich erhöht bei einer gleichzeitig sehr guten Bearbeitungsqualität. Dabei ist insbesondere die hohe Flexibilität und die gute Kombinierbarkeit des laserunterstützten Drückumformens mit anderen Verfahren von Vorteil.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Projizierdruckwalzen oder Zylinderdruckwalzen von Werkstücken mit zumindest einem Druckwerkzeug, wobei das Werkstück vor, während und/oder nach einem Umformschritt wärmebehandelt wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück (5) von einem durch eine Laserstrahleinrichtung (8) erzeugten Laserstrahl (6) benachbart zu einer durch einen Angriff des Druckwerkzeuges (4) bestimmten Umformzone und dieser vorausseilend auf einer äußeren Mantelfläche (7) erwärmt wird, eine Oberflächentemperatur (ϑ) des Werkstückes (5) erfaßt, mit einer Solltemperatur (ϑ_{soll}) verglichen und auf der Grundlage eines Soll-/Istwertvergleiches die Laserstrahleinrichtung (8) durch die Regeleinrichtung (9) angesteuert und eine Umformtemperatur des Werkstücks (5) durch die Regeleinrichtung (9) auf der Grundlage der erfaßten Oberflächentemperatur (ϑ) geregelt wird, wobei der Laserstrahl (6) durch eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung (10) unter Steuerung durch eine Steuerungseinheit (11) über das Werkstück (5) geführt und Position und Geometrie eines Laserbrennflecks (12) auf dem Werkstück (5) in Abhängigkeit des Soll-/Istwertvergleiches durch die Regeleinrichtung (9) bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Regeleinrichtung (9) Betriebsparameter der Laserstrahleinrichtung (8), insbesondere die Laserleistung und Laserintensität, eingestellt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) oszillierend mit variabler Amplitude und Frequenz über das Werkstück (5) geführt wird.
4. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) kontinuierlich über das Werkstück (5) geführt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) der Bewegung des Druckwerkzeuges (4) folgend über das Werkstück (5) geführt wird.
7. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück (5) durch einen ersten und einen zweiten Laserstrahl (6, 6') beaufschlagt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Laserstrahl (6) die Umformzone (a) vorzugsweise geführt durch das Druckwerkzeug (4) erwärmt, während der zweite Laserstrahl (6') den umge-

formten Bereich (b) des Werkstücks (5) erwärmt.

9. Vorrichtung zum Drückumformen, insbesondere Drücken, Projizierdruckwalzen oder Zylinderdruckwalzen von Werkstücken mit einer Spanneinrichtung mit zumindest einem Druckwerkzeug, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach den vorhergehenden Ansprüchen 1 bis 9, gekennzeichnet durch zumindest eine Laserstrahleinrichtung (8) zur Beaufschlagung des Werkstücks (5) mit einem Laserstrahl (6), eine Strahlführungs- und -formungseinrichtung (10) zur Führung des Laserstrahles (6) und Formung eines Laserbrennflecks (12) auf einer äußeren Mantelfläche (7) des Werkstücks (5),

eine Erfassungseinrichtung (13) zur Erfassung einer Oberflächentemperatur (ϑ) des Werkstücks (5), einer Regeleinrichtung (9) zur Regelung einer Umformtemperatur des Werkstücks (5), wobei die Regeleinrichtung (9) zumindest eine Speichereinheit zur Speicherung von Werkstoffdaten und Prozeßparametern aufweist und mit der Erfassungseinrichtung (13) verbunden ist zum Vergleichen einer erfaßten Oberflächentemperatur (ϑ) mit einer Solltemperatur (ϑ_{soll}), sowie mit der Laserstrahleinrichtung (8) und einer Steuerungseinheit (11) verbunden ist,

wobei die Steuerungseinheit (11) zur Steuerung der Strahlführungs- und -formungseinrichtung (10) sowie zur Einstellung des Vorschubes des Druckwerkzeuges (4) und der Drehgeschwindigkeit des Drückfutters (3) vorgesehen und mit diesen verbunden ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Regeleinrichtung (9) zur Einstellung von Betriebsparametern, insbesondere der Laserleistung (P) und der Strahlgeometrie, mit der Laserstrahleinrichtung (8) und der Steuerungseinheit (11) verbunden ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahleinrichtung (8) starr mit dem Druckwerkzeug (4) verbunden und mit diesem bewegbar ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahleinrichtung (8) oder zumindest ein durch die Laserstrahleinrichtung (8) erzeugter Laserstrahl (6) durch die Strahlführungs- und -formungseinrichtung (10) frei bewegbar, insbesondere mit variabler Amplitude und Frequenz oszillierend bewegbar ist.

13. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine erste und eine zweite Laserstrahleinrichtung (8, 8') zur Beaufschlagung des Werkstücks (5) mit einem ersten und einem zweiten Laserstrahl (6, 6') vorgesehen sind.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und/oder zweite Laserstrahleinrichtung (8, 8') starr mit dem Druckwerkzeug (4) verbunden und mit diesem bewegbar ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite und/oder erste Laserstrahleinrichtung (8', 8) oder zumindest der durch die zweite und/oder erste Laserstrahleinrichtung erzeugte zweite und/oder erste Laserstrahl (6', 6) frei bewegbar ist.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

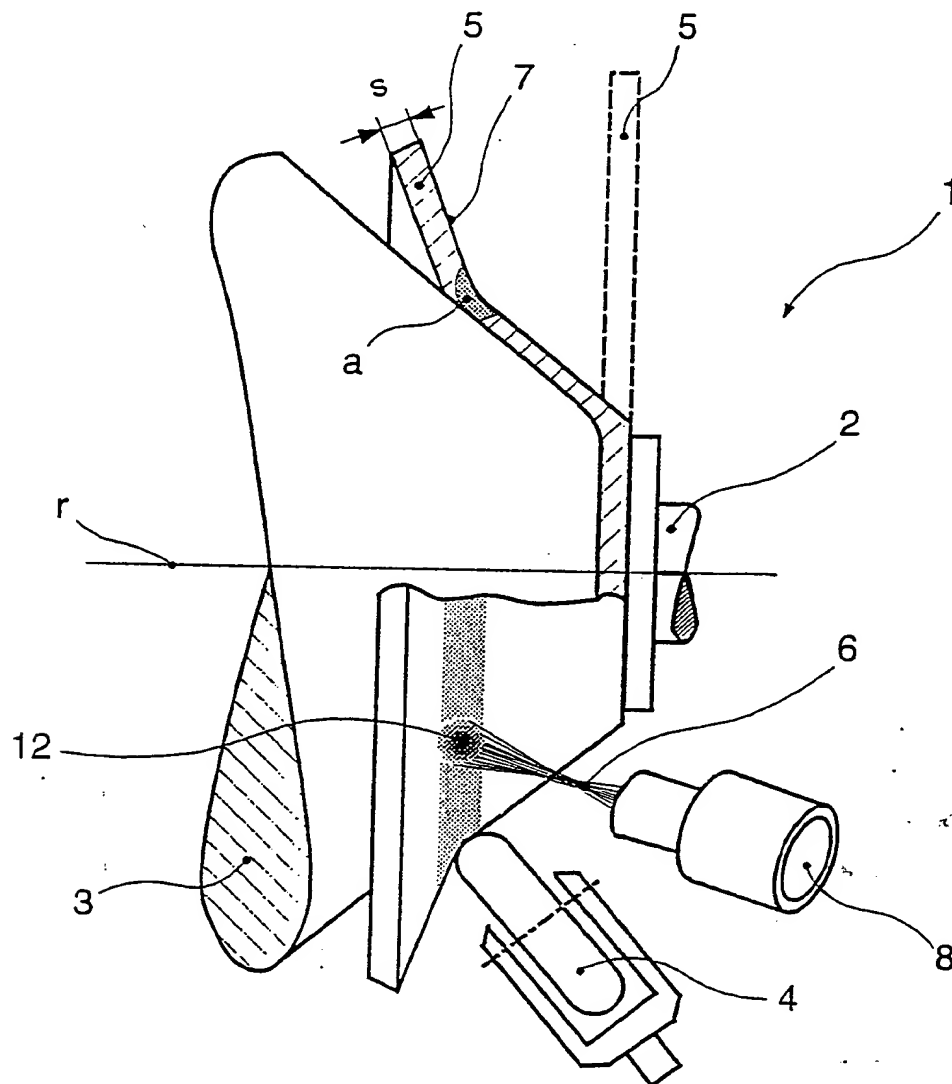


Fig. 1

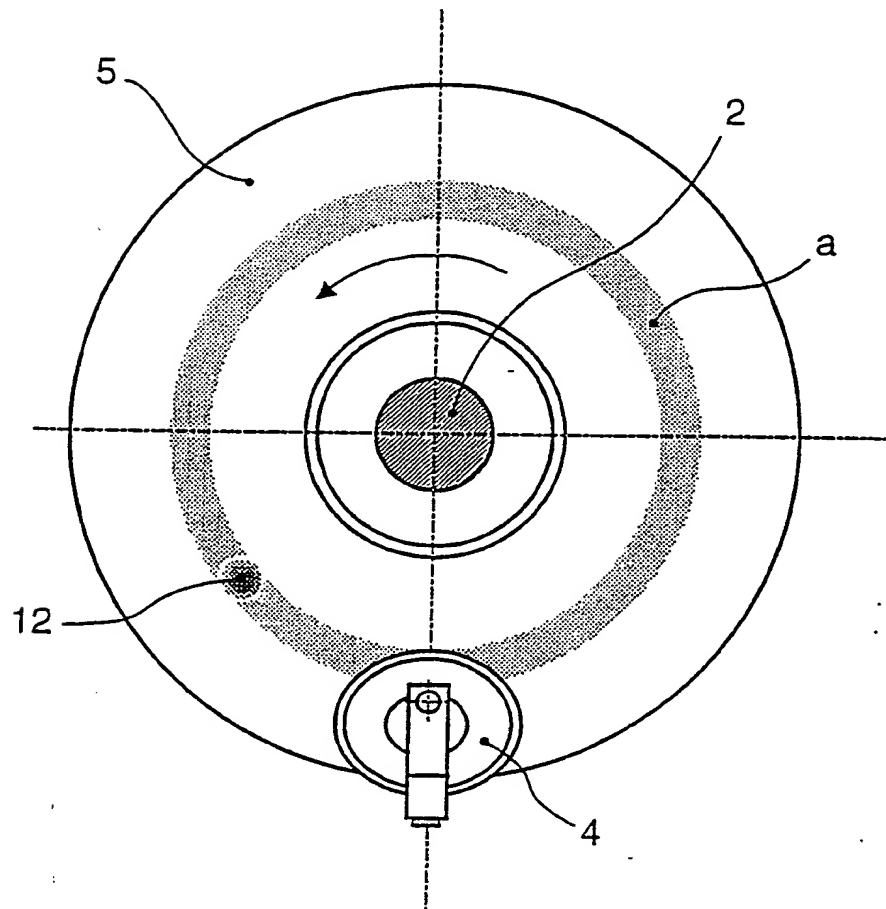


Fig. 2

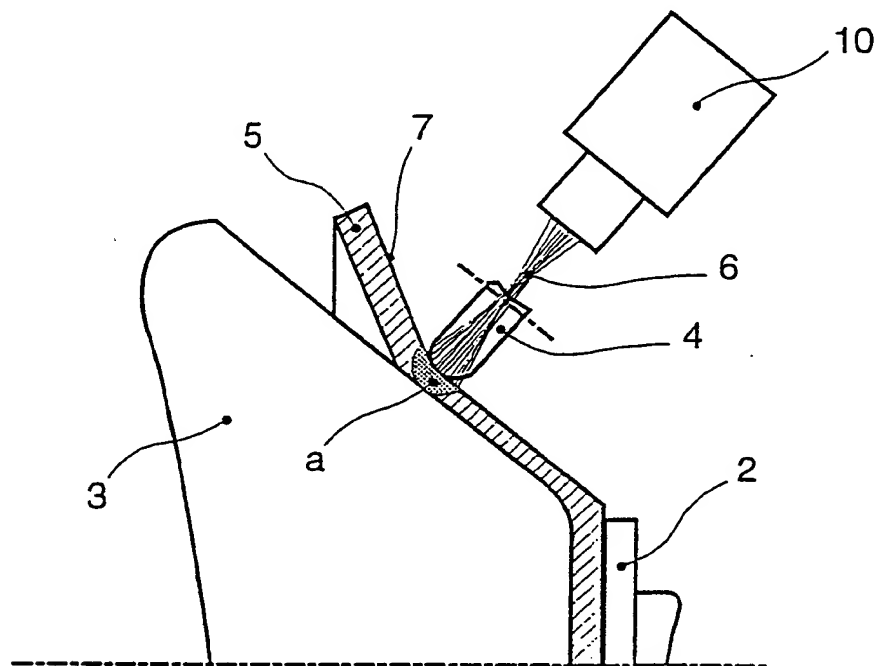


Fig. 3

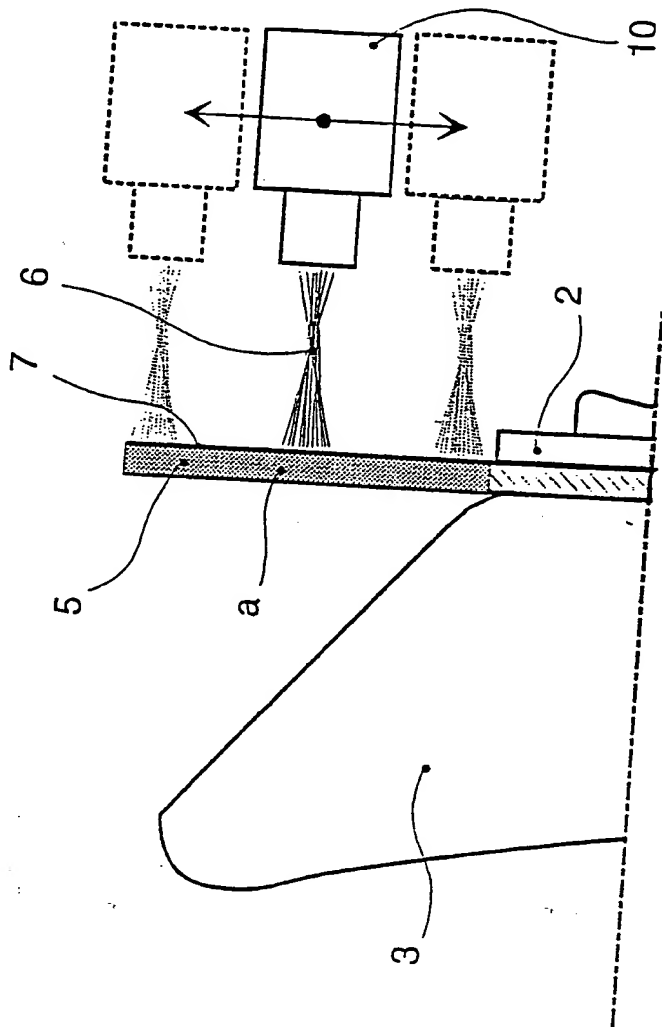


Fig. 4

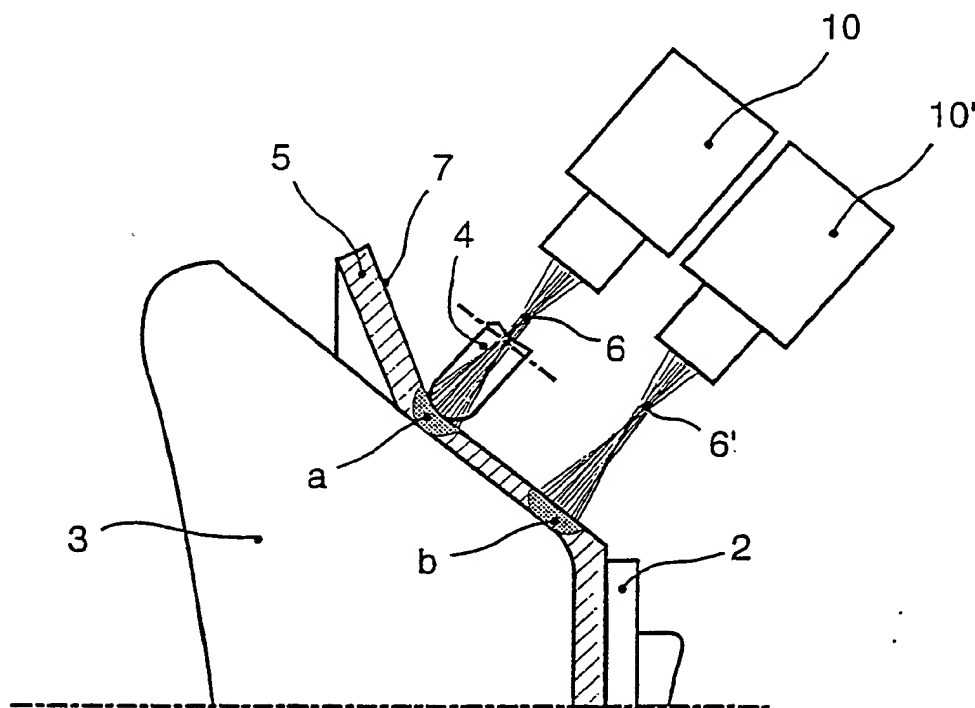


Fig. 5

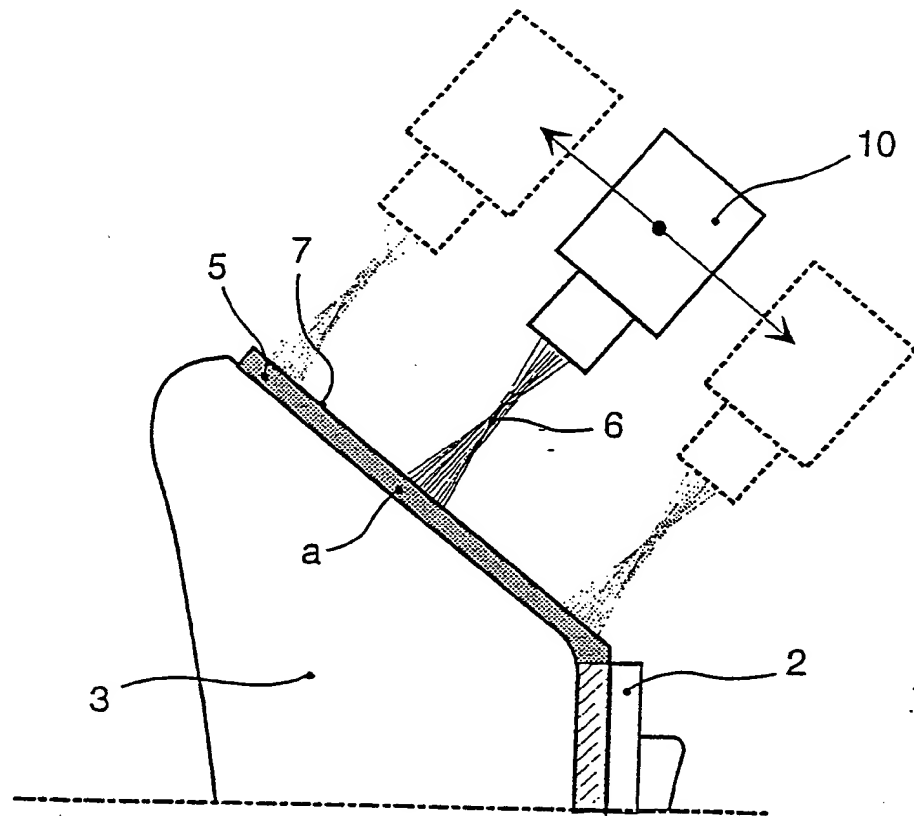


Fig. 6

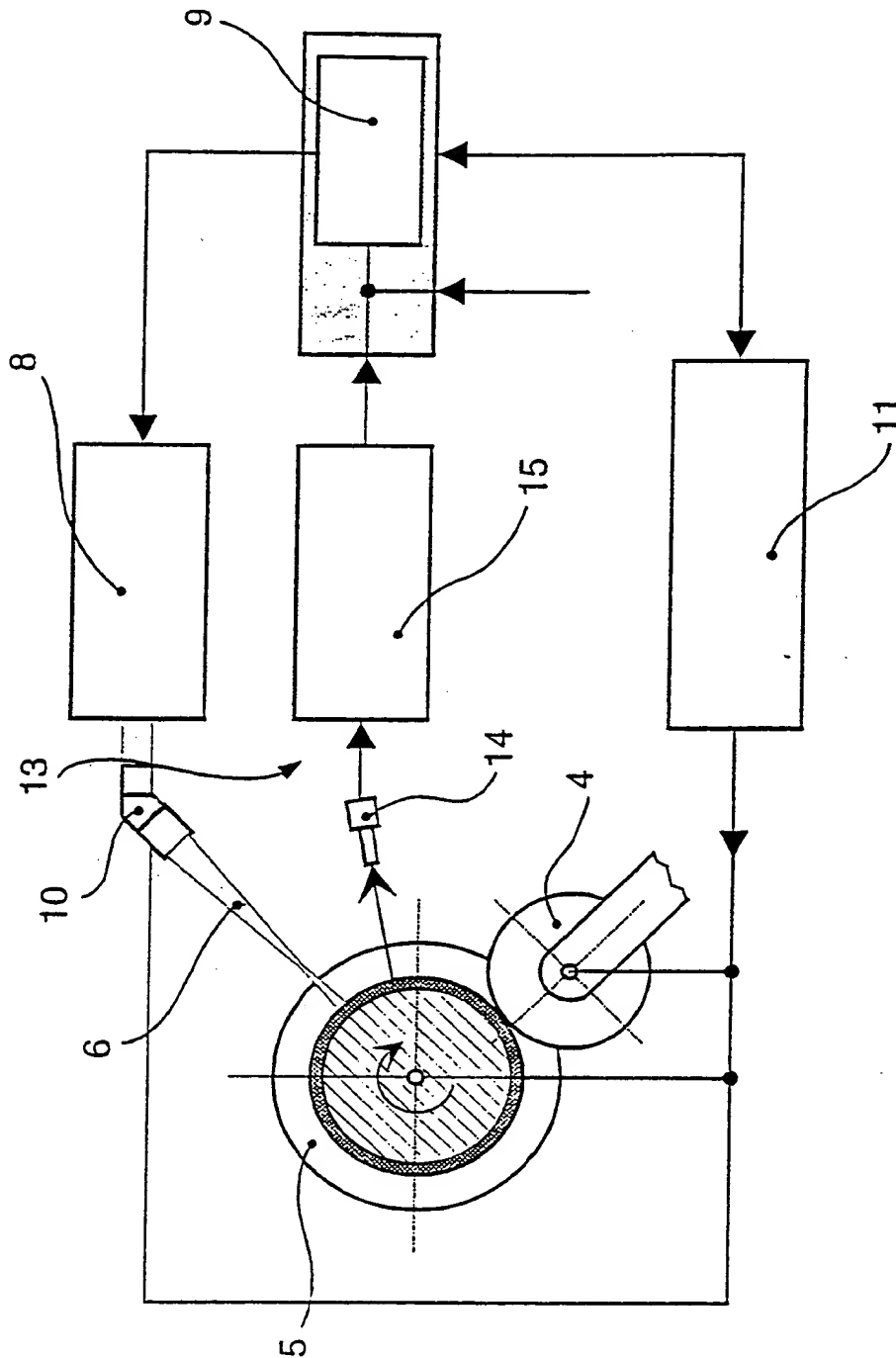


Fig. 7

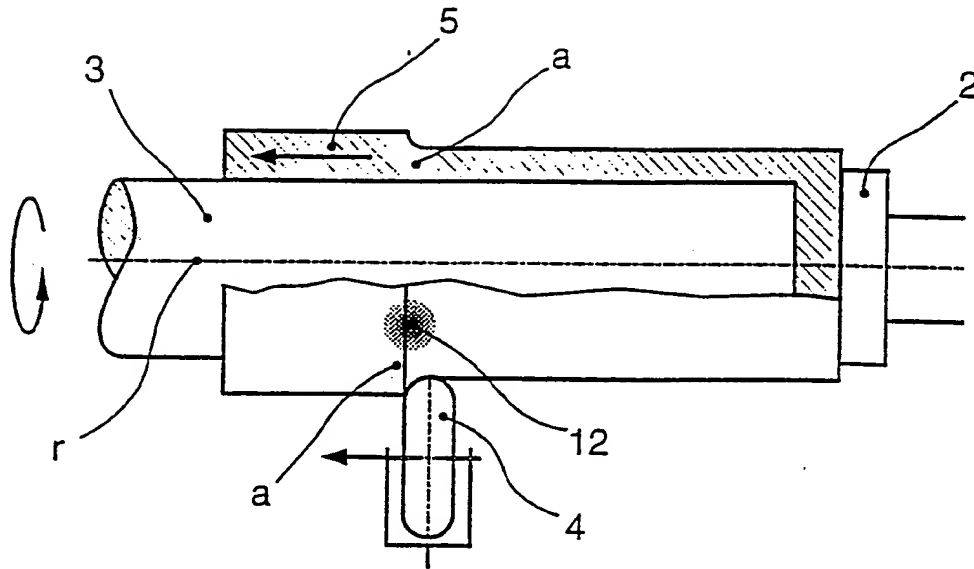


Fig. 8

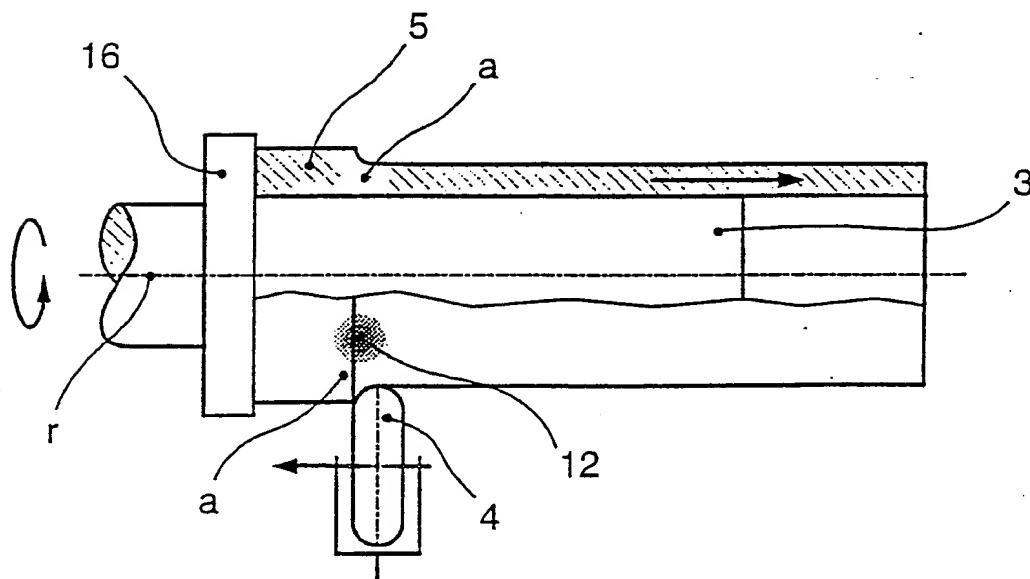


Fig. 9

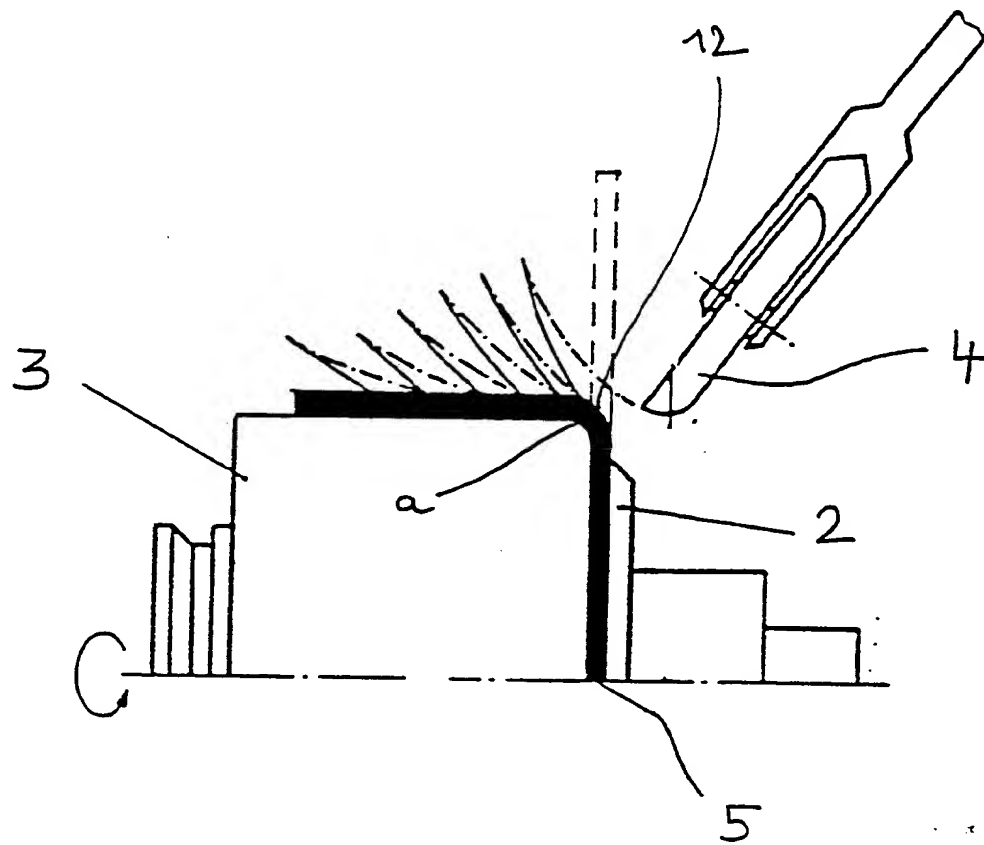


Fig. 10

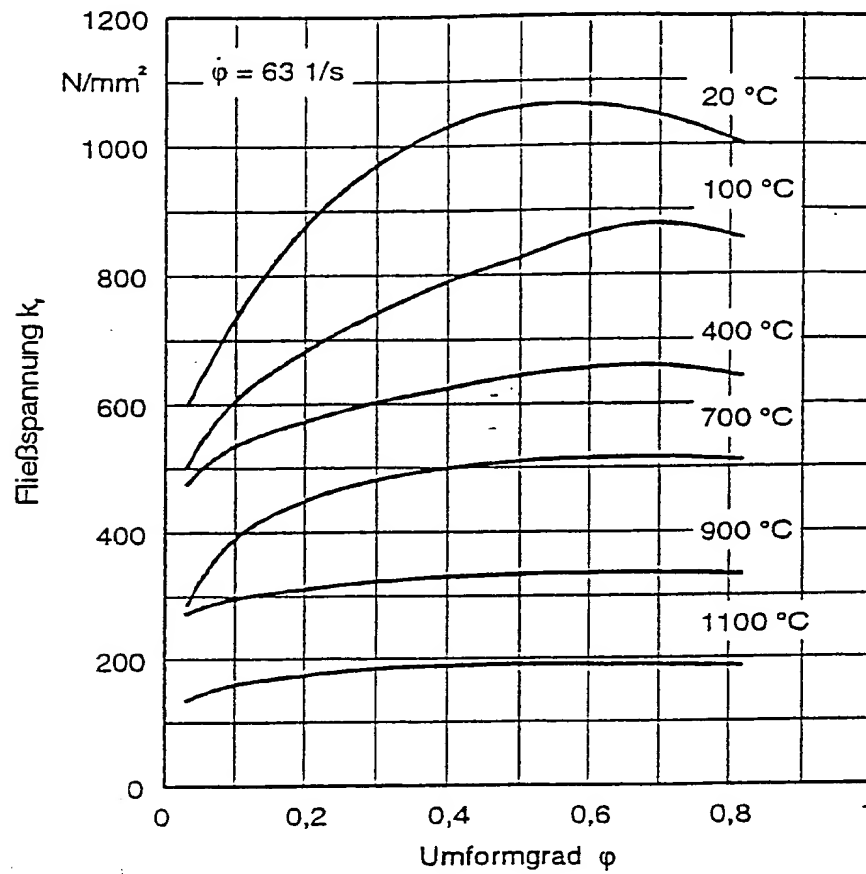


Fig. 11